区块链背景下农产品零售市场价格博弈模型与竞争策略

薛 冰[1,2,3], 孙传恒[2*], 刘双印[1,3], 罗 娜[2], 李金辉[2]

(1. 广州市农产品质量安全溯源信息技术重点实验室,广东广州 510225,中国; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心,北京 100097,中国; 3. 仲恺农业工程学院 信息科学与技术学院,广东广州 510225,中国)

摘 要: [**目的/意义**]区块链本质上是一个共享数据库,存储的数据是不可篡改、公开和透明的,应用在农产品供应链上可以提高产品透明度,吸引更多的消费者,但也会存在消费者隐私担忧问题。消费者的隐私担忧程度影响着农产品零售商对于是否售卖区块链溯源农产品的决策。通过研究区块链溯源对农产品零售商竞争策略、定价和最优决策的影响,零售商可以根据自己的市场情况制定市场竞争策略,提高自己的竞争力,优化农产品供应链。[**方法**]基于纳什均衡及Stackelberg博弈理论,建立初始农产品零售商与新进零售商的价格博弈模型,研究分析农产品零售商之间的竞争决策,利用区块链智能合约技术将博弈过程以及对应情况写入智能合约,保障合作博弈有效进行,将博弈结果上链来规范博弈双方的合作行为。[**结果和讨论**]消费者隐私担忧问题会影响农产品的价格和利润。此外,通过对两家农产品零售商均衡策略的研究,发现当消费者隐私担忧程度较低、信息透明度较高时,两家零售商才会同时售卖区块链溯源产品;消费者隐私担忧程度和信息透明度处于中等水平时,消费者对初始零售商的信任度更高,使其可以承担更高的隐私担忧成本,而新进零售商会被挤出市场。[**结论**]从利益层面上讲,区块链溯源农产品并不总是适用于零售商,结合自身实际条件才能做出最优的决策选择。良性的合作博弈才能使利益最大化,优化农产品供应链整体利益水平。

关键词: 区块链;供应链;农产品零售商;消费者隐私;博弈论

中图分类号: F326.6;TP309 **文献标志码:** A **文章编号:** SA202309027

引用格式:薛冰, 孙传恒, 刘双印, 罗娜, 李金辉. 区块链背景下农产品零售市场价格博弈模型与竞争策略[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(4): 160-173. DOI:10.12133/j.smartag.SA202309027

XUE Bing, SUN Chuanheng, LIU Shuangyin, LUO Na, LI Jinhui. Price Game Model and Competitive Strategy of Agricultural Products Retail Market in the Context of Blockchain[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(4): 160-173. DOI:10.12133/j.smartag.SA202309027 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

在传统零售行业的市场竞争中,先入为主的优势一直存在。先入零售企业经营时间更久、市场信誉更高、销售经验更丰富、对产品属性更加了解,消费者可能更信任先入零售企业的产品。但这并不能说明消费者对这些产品更加了解。先入为主的前提是产品的相关信息对于消费者来说是不透明的。农产品溯源技术可以提升整个供应链农产品的信息透明度,带来新的市场竞争优势,但供应链上下游主体由于复杂的利益博弈关系,造成各节点间信息不对称、信任成本较高等问题,影响了整体追溯效率[1]。区块链作为国内外公认的有效追溯技术[2-4],具有不可篡改、分布式、去中心化、可追溯、高可用等特点。利用区块链这些特性,可以将区块链技术与农产品追溯相结合[5],利用时间戳特性保证信息的唯一性,通过全网共识机制特性实现信息的不可篡改[6],增强信息可见度和透明度[7],有助于解决农产品供应链发展中存在的难题。区块链被广泛应用于信息安全、金融、证券、数字确权、溯源等领域,以实现数据的分布式存储和有效利用[8]。这也暗示了区块链技术的兴起与发展对市场上一些行

收稿日期:2023-09-25

基金项目:"十四五"国家重点研发计划项目(2022YFD2001804)

作者简介:薛 冰,研究方向为农产品区块链溯源、供应链管理。E-mail:1277463828@qq.com

*通信作者:孙传恒,博士,研究员,研究方向为区块链、农产品溯源、农业工程、电子信息。E-mail:sunch@nercita.org.cn

业，特别是农产品零售行业的竞争产生一定程度的影响。区块链技术可以应用在农产品供应链各个环节，在零售端主要负责向消费者售卖区块链溯源产品。如今消费者对农产品的质量和安全信息格外关注，农产品零售商需要跟消费者直接接触，消费者通过零售商了解并购买溯源农产品，对于溯源农产品的态度直接决定零售商是否售卖溯源农产品、零售商销售水平以及整个农产品供应链的销售水平。因此在农产品零售市场上是否采用区块链溯源技术变得难以抉择。

区块链实质上是一个不断增长的分布式共享数据库，去中心化能够简化查询流程，提高监管效率。运用哈希算法可以降低企业之间的交易风险，提高资产利用效率。数据链上公开透明，在提高信息透明度和监管效率上，区块链为农产品供应链中的痛点提供了良好的适用方案[9]。在如今的市场上，区块链中的产品溯源已经运用在市场产品的供销流程中，尤其是农产品的溯源。消费者越来越关注的是农产品的质量安全信息，区块链溯源技术已成为提高农产品质量安全的关键技术。

虽然区块链在提高信息透明度方面有很好的应用场景，但也需要考虑区块链技术带来的客户隐私担忧问题[10]。对于零售商来说，传统的基于互联网技术的农产品零售，消费者交易购买信息只有消费者及零售端管理者可见，而在“农场到餐桌”的供应链全过程中运用区块链技术，交易购买信息对于链上的所有参与者都是共享公开的，区块链技术所产生的消费者隐私担忧问题更为明显。如果消费者更在乎的是私人信息安全，对于产品的质量与安全信息的关注度相对较低，区块链溯源产品对其并不会产生额外的价值效用。对于已经具有一定竞争力的零售厂商在决定是否使用区块链技术时，应该综合考虑区块链技术带来的利弊。

在零售竞争策略研究方面，Chen等[11]提出了具有完整消费者信息的目标细分市场模型，对细分市场进行个性化定价。Valletti和Wu[12]研究了在寡头竞争环境下零售商的最优定价策略。Chakraborty和Mandal[13]研究了零售商竞争对供应链绩效的影响。在消费者行为方面，Choi等[14]讨论了区块链的应用，以帮助平台找到具有不同类型风险偏好的客户。Xu等[15]表示，消费者获得更多信息可以增强对供应商的信任，从而增强购买意愿。Belleflame等[16]研究了具有竞争力的公司是否可以通过价格歧视来吸引消费者，以获得市场力量。李怡娜和徐学军[17]和肖群和马士华[18]分别探讨了分销商库存信息不对称情形下的供应链协调机制。

本研究主要考虑区块链技术的引入如何影响消费者，进而影响农产品零售商在竞争中的定价及产品选择策略。区块链技术为农产品零售商提供了信息更透明的产品，从而增加了消费者的满意度。但区块链的使用也带来了消费者隐私数据泄漏的风险。因此，有竞争力的零售商的定价策略将随着区块链的引入而发生相应的变化。

1　问题描述与假设

农产品零售商是否售卖区块链溯源产品最优决策的问题可以分为3部分。第一，在竞争环境中，区块链技术会如何影响零售企业的最优定价。第二，竞争对手售卖溯源农产品的决策会如何影响自己。第三，对于是否售卖区块链溯源产品来说，农产品零售商与竞争对手之间的均衡策略是什么。

建立一个由初始农产品零售商和新进农产品零售商关于是否售卖区块链溯源产品的纳什博弈框架。一个是市场上已存在的零售商M_1；另一个是市场上的新进零售商M_2。假设将不选择区块链溯源产品的零售商记为A；选择区块链溯源产品的零售商记为B。一共分4种不同的情况研究，包括两者都不选择区块链产品AA，两者其一选择区块链产品（M_1选择，M_2不选择）BA和（M_1不选择，M_2选择）AB，以及两家都售卖区块链产品BB。其中使用区块链技术的成本先假设为0。后续再考虑区块链成本问题。

2　农产品零售市场价格博弈模型建立与竞争策略研究

研究两个不同的农产品零售商组成的系统。M_i（i =1，2）代表以单位价格p_i出售各自的农产品，主要字符含义说明见表1。博弈模型中的所有参与者风险为中性型，生产经营决策都基于利润最大化。

2.1 农产品对于消费者的效用与需求

2.1.1　农产品效用

用U_1^B表示初始农产品零售商所售卖的溯源农产品产品效用。

不同的消费者对于两家零售商的农产品有不同的评价。假设消费者的估值v服从区间［0，1］上

表1 博弈模型主要字符含义说明表

Table 1 Main character meaning description table in game model

字符	字符表示含义
M_1、M_2	两家零售企业分别为M_1(已存在)、M_2(新进入)
v	消费者对M_1零售产品的估值
qv	消费者对M_2零售产品的估值
k	信息透明度的提升程度
T	消费者承受的隐私关注成本
P	农产品零售商的零售价格
D	消费者需求
π	农产品零售商的利润

均匀分布，这里假设消费者的评价与农产品的零售价格是相互独立的。消费者对于两家农产品的估值也不同，存在时间较长的，消费者的评价也就越高[19]。因此，假设M_1的农产品对于消费者的价值为v，M_2的农产品价值为qv，其中$q<1$。当初始零售商和新入零售商的农产品价格分别为p_1和p_2且两家零售商都不使用区块链时，农产品对于消费者的效用U_1^A和U_2^A分别用公式（1）和公式（2）表达。

$$U_1^A = v - p_1 \tag{1}$$

$$U_2^A = qv - p_2 \tag{2}$$

零售商可以通过区块链技术来提升农产品的信息透明度。因此，产品的估值变为kv（$k>1$），k表示信息透明度的提升。消费者获得更多农产品质量安全信息可以增强对零售商的信任，从而增强购买意愿[20]。此外，消费者在查询农产品溯源信息时过度的个人隐私信息披露会降低消费者的购买欲望（$0<k<1$）。如果（$0<k<1$），两家农产品零售商都不会选择区块链溯源产品，因为在这种情况下使用区块链技术对于零售商来说是无利可图的。

消费者对于自身隐私的担心一直存在[21]。虽然区块链技术提高了农产品的信息透明度，但消费者也会担心区块链技术应用过程中留下的信息和数据泄漏。因此，从零售商购买区块链溯源农产品的消费者承受着隐私担忧成本T，当两家农产品零售商都采用区块链技术时，消费者的效用U_1^B和U_2^B用公式（3）和公式（4）表达。

$$U_1^B = kv - p_1 - T \tag{3}$$

$$U_2^B = kqv - p_2 - T \tag{4}$$

这里假设$T \leqslant k$，因为只有在$T \leqslant k$的情况下零售商才会考虑是否销售溯源农产品。

2.1.2 消费者需求

消费者购买农产品的决策取决于该农产品对于购买者的效用。消费者在购买农产品时都遵循效用最大化的原则来选择购买。假设两家零售商销售的农产品是完全相同的，消费者需要在两家中选择一家购买所需的农产品，对于消费者来说，哪一家零售商的农产品效用高就会选择购买其农产品。

对比分析两家农产品零售商在不同情况下的需求，如果两家零售商都不选择溯源农产品，也就是在AA情况下，可知消费者从M_1和M_2购买产品的效用分别为公式(1)和公式(2)，所以当且仅当$U_1^A > \max\{0, U_2^A\}$时，消费者会选择购买初始零售商的农产品；相反，如果$U_2^A > \max\{0, U_1^A\}$，消费者会选择购买新进零售企业的产品，如公式（5）所示，M_1和M_2的需求D_1^A和D_2^A分别是。

$$\begin{cases} D_1^A = \int_{v}: U_1^A > \max\{0, U_2^A\} \int(v) dv \\ D_2^A = \int_{v}: U_2^A > \max\{0, U_1^A\} \int(v) dv \end{cases} \tag{5}$$

在BA情况下，M_1和M_2的需求D_1^B和D_2^A如公式（6）所示。

$$\begin{cases} D_1^B = \int_{v}: U_1^B > \max\{0, U_2^A\} \int(v) dv \\ D_2^A = \int_{v}: U_2^A > \max\{0, U_1^B\} \int(v) dv \end{cases} \tag{6}$$

在AB情况下，M_1和M_2的需求D_1^A和D_2^B如公式（7）所示。

$$\begin{cases} D_1^A = \int_{v}: U_1^A > \max\{0, U_2^B\} \int(v) dv \\ D_2^B = \int_{v}: U_2^B > \max\{0, U_1^A\} \int(v) dv \end{cases} \tag{7}$$

在BB情况下，M_1和M_2的需求D_1^B和D_2^B如公式（8）所示。

$$\begin{cases} D_1^B = \int_{v}: U_1^B > \max\{0, U_2^B\} \int(v) dv \\ D_2^B = \int_{v}: U_2^B > \max\{0, U_1^B\} \int(v) dv \end{cases} \tag{8}$$

总结M_1和M_2的需求见表2。

两家农产品零售商各自决定其农产品价格，以使利润最大化。消费者可以根据自己的意愿，选择购买M_1的农产品或M_2的农产品或均不购买。两家零售厂商的利润$\pi(p_1)$和$\pi(p_2)$分别如公式（9）和公式（10）所示。

$$\pi(p_1) = p_1 D_1 \tag{9}$$

$$\pi(p_2) = p_2 D_2 \tag{10}$$

假设两家农产品零售商同时在市场上售卖，并假设两家农产品零售商的成本差值为0，农产品的

表2　两家农产品零售商各种决策选择情况下的需求

Table 2　The demands of two agricultural retailers in various decision selection situations

案例	条件	D_1	D_2
AA	$p_2 \leqslant qp_1$	$1-\frac{p_1-p_2}{1-q}$	$\frac{p_1-p_2}{1-q}-\frac{p_2}{q}$
	$p_2 > qp_1$	$1-p_1$	0
BA	$kp_2 \leqslant q(p_1+T)$	$1-\frac{p_1+T-p_2}{k-p}$	$\frac{p_1+T-p_2}{k-p}-\frac{P_2}{q}$
	$kp_2 > q(p_1+T)$	$1-(p_1+T)/k$	0
AB	$kq<1$; $p_2+T \leqslant kqp_1$	$1-\frac{p_1-p_2-T}{1-kq}$	$\frac{p_1-p_2-T}{1-kq}-\frac{P_2+T}{kq}$
	$kq<1$; $p_2+T > kqp_1$	$1-p_1$	0
	$kq>1$; $p_2+T \leqslant kqp_1$	0	$1-(p_2+T)/kq$
	$kq>1$; $p_2+T > kqp_1$	$\frac{p_2+T-p_1}{kq-1}-p_1$	$1-\frac{p_2+T-p_1}{kq-1}$
	$kq=1$; $p_2+T \leqslant kqp_1$	0	$1-\frac{p_2+T}{kq}$
	$kq=1$; $p_2+T > kqp_1$	$1-p_1$	0
BB	$p_2+T \leqslant q(p_1+T)$	$1-\frac{p_1-p_2}{k(1-q)}$	$\frac{p_1-p_2}{k(1-q)}-\frac{P_2+T}{kq}$
	$p_2+T > q(p_1+T)$	$1-(p_1+T)/k$	0

收购成本差距比较小，研究竞争对手时通常不考虑零售商的进货成本问题。

2.2 不同条件下农产品零售商的最优竞争策略

2.2.1　条件为AA时最优竞争策略

案例AA研究M_1和M_2均不售卖区块链溯源农产品的情况下的两家农产品零售商的最优决策和利润。将表2中的需求函数代入公式（5），得到M_1和M_2的优化问题为公式（11）和公式（12）。

$$M_1\begin{cases}\max \pi_1^{AA}(p_1)=p_1\left(1-\dfrac{p_1-p_2}{1-q}\right),p_2\leqslant qp_1\\ \max \pi_1^{AA}(p_1)=p_1(1-p_1),p_2>qp_1\end{cases} \tag{11}$$

$$M_2\begin{cases}\max \pi_2^{AA}(p_2)=p_2\left(\dfrac{p_1-p_2}{1-q}-\dfrac{p_2}{q}\right),p_2\leqslant qp_1\\ max\, \pi_2^{AA}(p_2)=0,p_2>qp_1\end{cases} \tag{12}$$

案例AA中M_1和M_2的最优价格、需求和利润如表3所示。

根据两家农产品零售商的最优定价水平，在此基础上通过公式（5）、公式（11）和公式（12）可以计算出两家零售商对应的需求水平和利润。

表3　案例AA中零售商的最优定价及相应的需求和利润

Table 3　The retailer's optimal pricing and corresponding demand and profit in case AA

零售商	p^{AA}	D^{AA}	π^{AA}
M_1	$\frac{2(1-q)}{4-q}$	$\frac{2}{4-q}$	$\frac{4(1-q)}{(4-q)^2}$
M_2	$\frac{q(1-q)}{4-q}$	$\frac{1}{4-q}$	$\frac{q(1-q)}{(4-q)^2}$

当两家农产品零售商都不使用区块链技术的时候，M_1的价格和需求都高于M_2，M_1的利润也高于M_2。因为在没有其他条件因素干扰的情况下，消费者对M_1产品的信任度更高，即M_1的价格高于M_2，消费者相信M_1产品会给自己带来更大的效用。M_2作为市场上的新入者，经营初期一般会通过制定低成本策略获得客户支持，从而保证不会被市场淘汰。

2.2.2　条件为BA时最优竞争策略

案例BA研究M_1售卖区块链溯源农产品而M_2不售卖的情况。利用表2中的结果，可以分别得到M_1和M_2的优化问题如公式（13）和公式（14）所示。

$$M_1\begin{cases}\max \pi_1^{BA}(p_1)=p_1\left(1-\dfrac{p_1+T-p_2}{k-p}\right),kp_2\leqslant q(p_1+T)\\ \max \pi_1^{BA}(p_1)=p_1\left(1-\dfrac{p_1+T}{k}\right),kp_2>q(p_1+T)\end{cases} \tag{13}$$

$$M_2\begin{cases}\max \pi_2^{BA}(p_2)=p_2\left(\dfrac{p_1+T-p_2}{k-p}-\dfrac{P_2}{q}\right),kp_2\leqslant q(p_1+T)\\ \max \pi_2^{BA}(p_2)=0,kp_2>q(p_1+T)\end{cases} \tag{14}$$

通过求解各个优化问题的一阶偏导，能够得到各种情况下的最优定价。在BA情况下，M_1和M_2的最优价格、需求和利润如表4所示。

分析案例BA发现农产品零售商的最优策略与消费者隐私关注成本密切相关。如果T较小，零售商就可以同时在市场上竞争；反之，如果T较大，M_1的价格将小于0，但这显然与实际市场不相符。导致消费者认为M_1的效用总是小于M_2的效用，所以只会选择M_2产品。

推论1：在BA的情况中$\frac{P_1^{BA}}{T}<0$，$\frac{P_2^{BA}}{T}>0$，

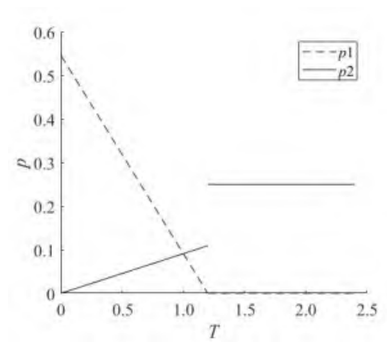
表4 案例BA中零售商的最优策略及相应的需求和利润

Table 4 Retailer's optimal strategy and corresponding demand and profit in case BA

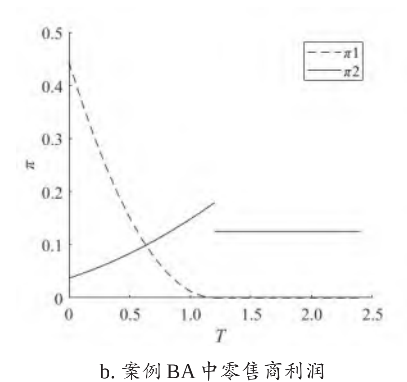
零售商	条件	P^{BA}	D^{BA}	π^{BA}
M_1	$T \leqslant \frac{2k(k-q)}{2k-q}$	$\frac{2k(k-q-T)+qT}{4k-q}$	$\frac{2k(k-q-T)+qT}{(4k-q)(k-q)}$	$\frac{[2k(k-q-T)+qT]^2}{(4k-q)^2(k-q)}$
M_2		$\frac{q(k-q+T)}{4k-q}$	$\frac{k(k-q-T)}{(4k-q)(k-q)}$	$\frac{kq(k-q+T)^2}{(4k-q)^2(k-q)}$
M_1	$T > \frac{2k(k-q)}{2k-q}$	0	0	0
M_2		$q/2$	1/2	$q/2$

$\frac{\pi_1^{BA}}{T} < 0$，$\frac{\pi_2^{BA}}{T} > 0$。

通过推论1可以看出在BA情况下，消费者的隐私担忧问题会影响两家农产品零售商的最优决策，但对于两家的产生的影响却是相反的，变化如图1所示。



a. 案例BA中零售商最优定价



b. 案例BA中零售商利润

图1 案例BA中零售商的最优策略

Fig. 1 Optimal strategy for the retailer in case BA

2.2.3 条件为AB时最优策略

案例AB研究M_1不售卖溯源农产品而M_2售卖时的情况。两家农产品零售商根据各自经营需求指定自己的定价，根据表2中的需求，可以得到两个农产品零售商的优化问题如公式（15）和公式（16）所示。

$$M_1\begin{cases} kq<1；p_2+T\leqslant kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_1^{AB}(p_1)=p_1\left(1-\dfrac{p_1-p_2-T}{1-kq}\right) \\ kq<1；p_2+T>kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_1^{AB}(p_1)=p_1(1-p_1) \\ kq>1；p_2+T\leqslant kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_1^{AB}(p_1)=0 \\ kq>1；p_2+T>kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_1^{AB}(p_1)=p_1\left(\dfrac{p_2-p_2+T}{kq-1}-p_1\right) \\ kq=1；p_2+T\leqslant kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_1^{AB}(\mathrm{p}_1)=0 \\ kq=1；p_2+T>kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_1^{AB}(p_1)=p_1(1-p_1) \end{cases} \tag{15}$$

$$M_2\begin{cases} kq<1；p_2+T\leqslant kqp_1\text{时}, \max \pi_2^{AB} \\ \max \pi_2^{AB}(p_2)=p_2\left(\dfrac{p_1-p_2-T}{1-kq}-\dfrac{p_2+T}{kq}\right) \\ kq<1；p_2+T>kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_2^{AB}(p_2)=0 \\ kq>1；p_2+T\leqslant kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_2^{AB}(p_2)=p_2\left(1-\dfrac{p_2+T}{kq}\right) \\ kq>1；p_2+T>kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_2^{AB}(p_2)=\mathrm{p}_2\left(1-\dfrac{p_2-p_1+T}{kq-1}\right) \\ kq=1；p_2+T\leqslant kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_2^{AB}(p_2)=p_2\left(1-\dfrac{p_2+T}{kq}\right) \\ kq=1；p_2+T>kqp_1\text{时}, \\ \max \pi_2^{AB}(p_2)=0 \end{cases} \tag{16}$$

通过求解上述优化问题，可以得到在这种情况

下两家农产品零售商的最优定价及利润，如表5　　所示。

表5　案例AB下零售商的最优策略及其需求和利润

Table 5　Retailer's optimal strategy，demand and profit in case AB

零售商	条件	p^{AB}	D^{AB}	π^{AB}
M_1	$T \leqslant \frac{kq(1-kq)}{2-kq}$且$kq<1$	$\frac{2(1-kq)+T}{4-kq}$	$\frac{2(1-kq)+T}{(4-kq)(1-kq)}$	$\frac{(2(1-kq)+T)^2}{(4-kq)^2(1-kq)}$
M_2		$\frac{kq(1-kq+T)-2T}{4-kq}$	$\frac{kq(1-kq+T)-2T}{kq(4-kq)(1-kq)}$	$\frac{(kq(1-kq+T)-2T)^2}{kq(4-kq)^2(1-kq)}$
M_1	$T > \frac{kq(1-kq)}{2-kq}$且$kq<1$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
M_2		$(0,1)$	0	0
M_1	$T \leqslant \frac{kq(1-kq)}{2-kq}$且$kq>1$	$\frac{kq-1+T}{4kq-1}$	$\frac{kq(kq+T-1)}{(4kq-1)(kq-1)}$	$\frac{(kq(kq+T-1))^2}{(4kq-1)^2(kq-1)}$
M_2		$\frac{2kq(kq-T-1)+T}{4kq-1}$	$\frac{2kq(kq-T-1)+T}{(4kq-1)(kq-1)}$	$\frac{(2kq(kq-T-1)+T)^2}{(4kq-1)^2(kq-1)}$
M_1	$T > \frac{kq(1-kq)}{2-kq}$且$kq>1$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
M_2		0	0	0
M_1	$T < \frac{1}{2}$且$kq=1$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
M_2		$\frac{1}{2}-T$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}-\frac{T}{4}$
M_1	$T \geqslant \frac{1}{2}$且$kq=1$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
M_2		$(0,1)$	0	0

分析案例AB发现两家农产品零售商的最优定价决策会因为kq值的变化而变化，这是因为区块链技术提高了消费者对产品的了解及评价效果。

当$kq<1$时，说明区块链技术的应用并不能抵消消费者购买M_2农产品时所产生的隐私担忧。两家的最优定价策略都与消费者的隐私关注度的范围有密切关系。如果T很小，即$T\leqslant kq(1–kq)/(2–kq)$，商家$M_1$和$M_2$的产品就能在市场上共存。一旦隐私关注度超过这个范围，即$T>kq(1–kq)/(2–kq)$，消费者就会非常关心自身的信息安全，所以M_2产品的估值总是会低于M_1，最终农产品零售商M_2将会被市场淘汰。

当$kq=1$时区块链技术的应用刚好提升M_2产品的质量信息透明度，此时两家农产品零售商的产品效用是一样的，但是消费者在购买M_2产品时会额外考虑隐私问题。所以两家的定价仍然与T相关联。当$T<1/2$时，消费者无论购买哪一家的农产品，效用是一样的。当$T\geqslant 1/2$时，此时情况与$kq<1$的情况是一致的，M_2将被市场淘汰。

当$kq>1$时，此时农产品零售商售卖区块链溯源农产品将完全被消费者所接受，消费者得到其需要的产品质量信息，增加产品质量透明度。T的取值依然起着很大的决定作用。如果T值很大，如$T>2kq(kq–1)/(2kq–1)$，那么M_2就要以低于0的价格出售农产品，在现实中显然是不可能的。当T值很小时即$T\leqslant 2kq(kq–1)/(2kq–1)$时，两家农产品零售商可以共存。

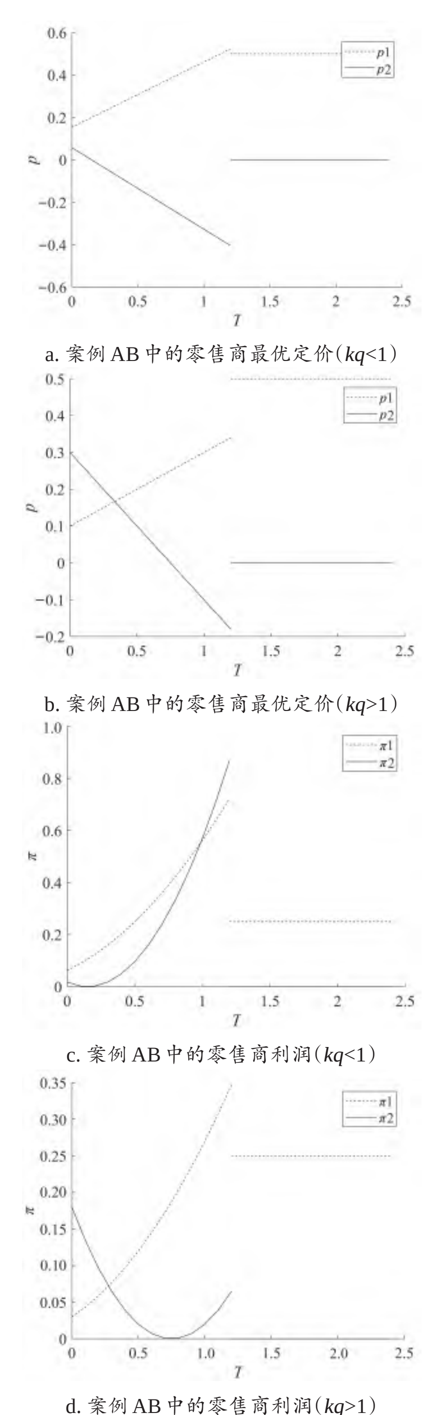
推论2：在AB的情况中，当$kp\neq 1$时，$\frac{P_1^{AB}}{T}>0$，$\frac{P_2^{AB}}{T}<0$，$\frac{\pi_1^{AB}}{T}>0$，$\frac{\pi_2^{AB}}{T}<0$。

推论2表明，在案例AB情况下，M_1的最优价格及利润会随着消费者隐私关注度的提高而增加，而M_2的最优定价和利润则随之递减。这与案例BA中完全相反。因此，两家农产品零售商在使用区块链技术时要特别注意，只有在均衡了区块链技术给自己带来的利弊之后，才能做出最优的决定，从图2中可以直观地看出变化趋势。

2.2.4　条件为BB时最优策略

案例BB研究两家农产品零售商M_1和M_2都选择售卖溯源农产品，通过表2可以得到M_1和M_2各自的优化问题，如公式（17）和公式（18）所示。

$$M_1\begin{cases} p_2+T\leqslant q(p_1+T)\text{时}, \\ \max \pi_1^{BB}(p_1)=p_1\left(1-\frac{p_1-p_2}{k(1-q)}\right) \\ p_2+T>q(p_1+T)\text{时}, \\ \max \pi_1^{BB}(p_1)=p_1\left(1-\frac{p_1+T}{k}\right) \end{cases} \tag{17}$$



a. 案例AB中的零售商最优定价(kq<1)

b. 案例AB中的零售商最优定价(kq>1)

c. 案例AB中的零售商利润(kq<1)

d. 案例AB中的零售商利润(kq>1)

图2 案例AB中零售商的最优策略

Fig. 2 Optimal strategy of retailer in case AB

$$M_2\begin{cases} p_2 + T \leqslant q(p_1 + T)\text{时}, \\ \max \pi_2^{BB}(p_1) = p_1\left(\dfrac{p_1 - p_2}{k(1-q)} - \dfrac{p_1 + T}{kq}\right) \\ p_2 + T > q(p_1 + T)\text{时}, \\ \max \pi_2^{BB}(p_1) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

通过求解其一阶偏导，可以得出BB案例中两家农产品零售商的最优策略，将其最优定价水平带入相应的需求函数和利润函数中，可以得到两家的需求和利润，如表6所示。

表6 案例BB中零售商的最优策略及相应的需求和利润

Table 6 Retailer's optimal strategy and corresponding demand and profit in case BB

零售商	条件	p^{BB}	D^{BB}	π^{BB}
M_1	$T \leqslant \dfrac{kq}{2}$	$\dfrac{(2k-T)(1-q)}{4-q}$	$\dfrac{2k-T}{k(4-q)}$	$\dfrac{(2k-T)^2(1-q)}{k(4-q)^2}$
M_2		$\dfrac{(kq-2T)(1-q)}{4-q}$	$\dfrac{kq-2T}{kq(4-q)}$	$\dfrac{(kq-2T)^2(1-q)}{kq(4-q)^2}$
M_1	$T > \dfrac{kq}{2}$	$\dfrac{k-T}{2}$	$\dfrac{k-T}{2k}$	$\dfrac{(k-T)^2}{4k}$
M_2		(0,1)	0	0

分析案例BB发现两家农产品零售商的最佳决策与消费者的隐私关注问题依然密切相关。当消费者隐私关注度较低时（即$T≤kq/2$），两家零售商可以在市场上共存，甚至趋于平衡关系。当消费者非常关注自己的隐私安全时（即$T>kq/2$），区块链溯源产品为农产品零售商带来了相同的效用，并不能改变M_1在市场上的先天优势，M_1的需求依然大于M_2，最终M_2会被挤出市场。

推论3：当M_1和M_2都选择售卖溯源农产品时，$\dfrac{P_1^{BB}}{T} < 0$，$\dfrac{P_2^{BB}}{T} > 0$，$\dfrac{\pi_1^{BB}}{T} < 0$，$\dfrac{\pi_2^{BB}}{T} > 0$。

由推论3可知，在BB案例中两家农产品零售商的最优定价及利润都随着隐私关注成本T的增加而降低，相对于T值来说，M_2的敏感度要高于M_1，从图3中可以清楚地看出趋势。

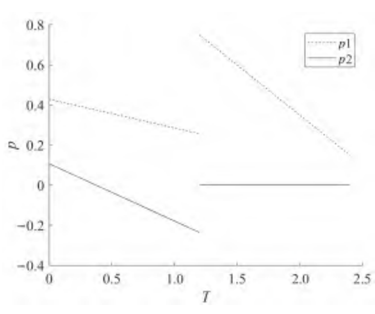
2.3 农产品零售竞争中Stackelber博弈研究

至此，对两家农产品零售商的最优定价决策进行了研究。这些只是零售商定价的决策选择，当然也要考虑农产品零售商是否售卖溯源农产品的选择。通过Stackelberg博弈（双方都是根据对方可能的策略来选择自己的策略以保证自己在对方策略下的利益最大化，从而达到纳什均衡）来研究两家农产品零售商关于区块链产品决策的均衡情况，帮助农产品零售商做出更好的运营决策。

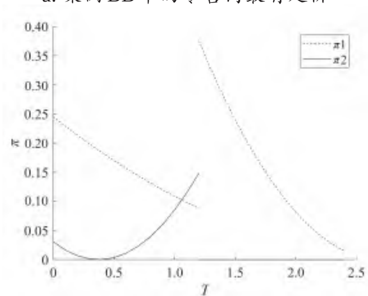
2.3.1 M_2不选择溯源农产品时，对M_1的影响

给出M_2不选择区块链溯源产品的先决条件，研究售卖区块链溯源产品对于M_1最优定价水平的影响及对于M_1均衡结果的影响，总结如下：

如果$T \leqslant T_1$，那么$\pi_1^{BA} \geqslant \pi_1^{AA}$，$M_1$从区块链溯源产品中将会获得更多收益；如果$T > T_1$，那么$\pi_1^{BA} <$



a. 案例BB中的零售商最有定价



b. 案例BB中的零售商利润

图3　案例BB中零售商的最优策略

Fig. 3 Optimal strategy for retailers in case BB

π_1^{AA}，M_1将不再售卖区块链溯源农产品，此时T_1如公式（19）所示。

$$T_1=\frac{2k\left(k-q\right)^2\left(4-q\right)-\left(4k-q\right)\sqrt{\left(k-q\right)\left(1-q\right)}}{\left(2k-q\right)\left(k-q\right)\left(4-q\right)} \tag{19}$$

如果消费者对于区块链的隐私担忧程度较低时，M_1售卖区块链溯源产品会比不售卖收获更高的利润。

2.3.2　M_2选择溯源农产品时，对M_1的影响

当M_2售卖溯源产品时，讨论M_1的应对方案。通过对M_1的利润研究可以得出结论，根据kq的值，可以分3种情况讨论，M_2选择售卖区块链溯源产品时，M_1的对策如下：

当$kq<1$且k值较大时即$k\geqslant(\frac{2}{2-q})^2$，且$T$的范围在$T\leqslant\frac{kq(1-kq)}{2-kq}$或者$\frac{kq}{2}<T\leqslant k-\sqrt{k}$，那么$\pi_1^{AB}\leqslant\pi_1^{BB}$这表示$M_1$更愿意选择区块链溯源产品。当$T$的范围在$\frac{kq(1-kq)}{2-kq}<T\leqslant\frac{kq}{2}$或者$T>k-\sqrt{k}$，此时$\pi_1^{AB}>\pi_1^{BB}$$M_1$不会去选择区块链溯源产；相反$k$值较小时，即$k<(\frac{2}{2-q})^2$，$T$的范围在$T\leqslant\frac{kq(1-kq)}{2-kq}$，那么$\pi_1^{AB}\leqslant\pi_1^{BB}$，$T$的范围在$T>\frac{kq(1-kq)}{2-kq}$，此时$\pi_1^{AB}>\pi_1^{BB}$。

当$kq>1$时，同样，只要T很小（$T\leqslant T_2$），M_1就会获得更多的利润（$\pi_1^{AB}\leqslant\pi_1^{BB}$）；$T$值很大时（$T>T_2$），则$M_1$不会选择区块链溯源产品，售卖溯源产品对于$M_1$来说并不划算（$\pi_1^{AB}>\pi_1^{BB}$）。此时$T_2$如公式（20）所示。

$$T_2=\frac{2k\left(4kq-1\right)\sqrt{\left(1-q\right)\left(kq-1\right)}-kq\left(kq-1\right)\sqrt{k\left(4-q\right)}}{\left(4kq-1\right)\sqrt{\left(1-q\right)\left(kq-1\right)}+kq\sqrt{k\left(4-q\right)}} \tag{20}$$

当$kq=1$时，T的阈值随k的变化而变化。T值较大时，如果$k<\frac{3}{2}$且$T>2k-\frac{(4k-1)}{\sqrt{8(k-1)}}$，或者$\frac{3}{2}\leqslant k<\frac{2+\sqrt{3}}{2}$且$T>\frac{1}{2}$，或者$k\geqslant\frac{2+\sqrt{3}}{2}$且$T>k-\sqrt{k}$，在这3个范围情况下$\pi_1^{AB}>\pi_1^{BB}$。此时$M_1$并不适用区块链技术；$T$值很小时，如果$k<\frac{3}{2}$且$T\leqslant2k-\frac{(4k-1)}{\sqrt{8(k-1)}}$，或者$\frac{3}{2}\leqslant k<\frac{2+\sqrt{3}}{2}$且$T\leqslant\frac{1}{2}$，或者$k\geqslant\frac{2+\sqrt{3}}{2}$且$T\leqslant k-\sqrt{k}$，在这3个范围情况下$\pi_1^{AB}\leqslant\pi_1^{BB}$，此时$M_1$可以利用区块链技术来提高农产品质量的透明度，可信度。

2.3.3　M_1不售卖溯源农产品时，对M_2的影响

当M_1不选择售卖溯源产品时，M_2该如何选择，通过对M_2选择和不选择区块链溯源产品的利润变化，可以得到以下对策。

当$kq<1$时，如果$T\leqslant T_3$，则$\pi_2^{AB}\geqslant\pi_2^{AA}$；如果$T>T_3$，则$\pi_2^{AB}<\pi_2^{AA}$，此时$T_3$如公式（21）所示。

$$T_3=\frac{kq\left(4-q\right)\left(1-kq\right)-q\left(4-kq\right)\sqrt{k\left(1-q\right)\left(1-kq\right)}}{\left(4-q\right)\left(2-kq\right)} \tag{21}$$

当$kq>1$时，如果$T\leqslant T_4$，则$\pi_2^{AB}\geqslant\pi_2^{AA}$；如果$T>T_4$，则$\pi_2^{AB}<\pi_2^{AA}$，此时$T_4$如公式（22）所示。

$$T_4=\frac{2kq\left(kq-1\right)\left(4-q\right)-\left(4kq-1\right)\sqrt{q\left(1-q\right)\left(kq-1\right)}}{\left(4-q\right)\left(2kq-1\right)} \tag{22}$$

当$kq=1$时，如果$T\leqslant\frac{16k^2-16k+5}{2(4k-1)^2}$，则$\pi_2^{AB}\geqslant\pi_2^{AA}$，如果$T>\frac{16k^2-16k+5}{2(4k-1)^2}$，则$\pi_2^{AB}<\pi_2^{AA}$。

当M_1不售卖溯源产品时，M_2的对策仍然根据

kq值的变化分3种情况来讨论。当$kq<1$且T较小(即$T \leqslant T_3$)时，M_2可以通过溯源产品获得更多的利润。当T较大(即$T>T_3$)时，此时M_2采用区块链是不明智的选择。当$kq \geqslant 1$和$kq=1$时，M_2的选择都与$kq<1$的情况类似，结果与T的取值范围密切相关。当T较小时，M_2选择售卖溯源产品才有利可图；当T较大时，无论kq为何值，M_2售卖溯源产品都是不明智的。

2.3.4 M_1售卖溯源农产品时，对M_2的影响

当M_1选择售卖溯源产品时，研究M_2选择和不选择售卖溯源产品的定价和利润水平，来获取M_2对于M_1选择售卖溯源产品的最优决策为：如果$T \leqslant T_5$，则$\pi_2^{BB} \geqslant \pi_2^{BA}$，$M_2$更倾向于选择售卖溯源产品；如果$T>T_5$，则$\pi_2^{BB}<\pi_2^{BA}$，$M_2$将不再选择售卖溯源产品，此时$T_5$如公式(23)所示。

$$T_5=\frac{kq(4k-q)\sqrt{(k-q)(1-q)}-kq(k-q)(4-q)}{(4k-q)\sqrt{(k-q)(1-q)}+kq(4-q)} \tag{23}$$

可以明显地看出，M_2的决策与前面小节中的情况类似，当$T \leqslant T_5$时，M_2通过售卖溯源产品获得的收益更多；当$T>T_5$时，消费者在综合评估售卖溯源农产品的效果时，更加关注的是自身信息隐私而非产品信息。因此对于M_2而言，不售卖溯源产品更好。

2.4 农产品零售商均衡策略选择

根据不同场景下两家农产品零售商各自的均衡决策，研究两家农产品零售商之间的平衡选择。

M_1和M_2两家农产品零售商的均衡策略如下。

当$kq<1$，如果$T \leqslant T_5$或者$k \geqslant (\frac{2}{2-q})^2$且$\frac{kq}{2}<T \leqslant k-\sqrt{k}$，在这两个范围中方案BB就是最佳均衡策略；如果$k \geqslant (\frac{2}{2-q})^2 T$的范围在$T_5<T \leqslant \frac{kq}{2}$或$k-\sqrt{k}<T \leqslant T_1$，或者$k<(\frac{2}{2-q})^2$且$T$的范围在$T_5<T \leqslant T_1$，此时方案BA为均衡策略；如果$k \geqslant (\frac{2}{2-q})^2$且$T>T_1$，或者$k<(\frac{2}{2-q})^2$且$T>T_1$，此时案例AA为均衡策略。

当$kq>1$，如果$T \leqslant T_5$，则案例BB为均衡策略；如果$T_5<T \leqslant T_1$，案例BA为均衡策略；如果$T>T_1$，此时均衡策略为案例AA。

当$kq=1$，如果$T \leqslant T_5$，则案例BB为均衡策略；如果$T_5<T \leqslant T_1$，那么案例BA为均衡策略；如果$k \leqslant \frac{3}{2}$且$2k-\frac{4k-1}{\sqrt{8(k-1)}} \leqslant T<\frac{16k^2-16k+9}{2(4k-1)^2}$，此时案例AB是最均衡的选择；当$k \leqslant \frac{2+\sqrt{3}}{2}$且$T \geqslant \frac{16k^2-16k+9}{2(4k-1)^2}$，或者$k>\frac{2+\sqrt{3}}{2}$且$T>T_1$，那么案例AA为均衡策略。

在不同的条件下M_1和M_2之间的均衡策略会有所差异。本文研究了所有的情况。农产品零售商需要结合自身的实际情况来选择自己的最优策略。

3 合作博弈智能合约构建

前文对于农产品零售商之间的博弈进行了研究，但在竞争关系中很难保证两家利益，只有在合作博弈中选择均衡策略才能实现整体利益最大化。为保证农产品零售商更好地进行合作博弈，避免恶性竞争消耗市场资源，利用区块链中的智能合约技术解决这个问题。双方可以将博弈信息传至智能合约，将博弈结果上链，来更好地规范合作行为。

3.1 环境搭建

本研究的测试环境基于Hyperledger Fabric2.0搭建，使用的虚拟机系统版本为Ubuntu20.04 LTS。区块链网络配置为2个组织、4个普通节点以及3个排序节点，共识机制采用raft共识，智能合约使用go语言编写。

根据前面所做的研究，将博弈过程加入智能合约，两家农产品零售商在进行合作博弈时输入对应的参数，通过智能合约计算给出两家农产品零售商在合作博弈中的均衡策略，如图4所示。此时两家遵从规则来选择是否售卖区块链溯源农产品，将会实现整体利益最大化，保障参与方良性合作，在市场上共存。在应用的过程中可能会存在跨链访问的情况，可以采用同构技术实现跨链访问[22]。

3.2 智能合约构建

表7描述了农产品零售商之间的合作博弈。农产品零售商输入对应参数k(信息透明度的提升程度k>1)、q(价格系数q<1)和T(隐私关注度$T \leqslant k$)。首先判定kq的值，一共分3种情况(kq<1、kq>1和kq=1)根据判定结果，满足条件后进行下一步判定，对输入的参数加以计算，在对应的范围内

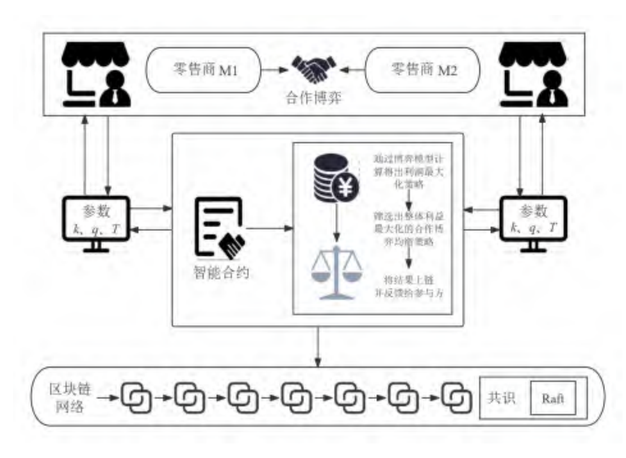


图4　农产品零售商合作博弈架构图

Fig. 4 Cooperative game architecture diagram of agricultural retailers

会输出对应的结果，如果输出值为“方案BB为均衡策略”此时两家都会选择售卖溯源农产品来达到整体利益最大化。当输出其他结果AA、AB、BA时，分别对应着不同的均衡策略，将合约输出的结果传至链上，参与方按照输出的结果来执行对应的均衡策略，来促进博弈双方的市场合作，追求整体利润最大化。相关智能合约描述如表7所示。

3.3 合约测试

合约测试部分对智能合约进行部署及调用，来测试合约的可行性。

Hyperledger Fabric网络启动节点状态如图5所示。

```
CONTAINER ID  IMAGE                        COMMAND              CREATED       STATUS                    PORTS
9968d6eb4cdd  hyperledger/fabric-orderer   "orderer"            1 second ago  Up Less than a second     7050/tcp
example.com
4f8c0c66241a  hyperledger/fabric-peer      "peer node start"    1 second ago  Up Less than a second     7051/tcp
1.example.com
c85892686836  hyperledger/fabric-orderer   "orderer"            1 second ago  Up Less than a second     0.0.0.0:
example.com
077b65441cf9  hyperledger/fabric-tools     "/bin/bash"          1 second ago  Up Less than a second
591f7cb075e5  hyperledger/fabric-tools     "/bin/bash"          1 second ago  Up Less than a second
83fbc87589b3  hyperledger/fabric-peer      "peer node start"    1 second ago  Up Less than a second     0.0.0.0:
1.example.com
```

图5　Hyperledger Fabric网络启动状态

Fig. 5 Hyperledger Fabric network startup status

如图6所示，该图描述了合作博弈智能合约在区块链上部署成功的结果。

3.4 实例应用

对合作博弈智能合约部分进行实例应用及调用。在2023年8月收集了北京地区3家农产品零售商的相关数据来验证研究结论。由于线下零售商竞争具有区域性，实验对象挑选了同一街道上的不同零售商作为参考，其中一家为早期经营比较成熟的零售商R_1，以及另外两家新开业零售商R_2和R_3，在此不考虑两家的进货成本，成本差值为0。通过调查得知该区域消费者对于区块链溯源农产品的满意度较高，在购买过程中多数会扫描商品包装中的溯源码来获取自身想要的产品质量信息，这一点通过产品溯源码扫描的次数可以看出（此时k取值为4，k>1）。其次是农产品定价系数，根据市场调查，相比零售商R_1，新进零售商R_2为吸引消费者定价普遍较低，根据两家实际农产品定价水平，定价差距并不是很大，（此时q取值为0.4，　q<1）。最后是消费者对于隐私的关注程度，根据对消费者的采访以及

```
{
        "approvals": {
                "Org1MSP": true,
                "Org2MSP": true
        }
}
提交链码
2023-11-08 12:55:12.684 UTC [chaincodeCmd] ClientWait -> INFO 001 txid [e848aec2f4dc174e2718f924caf
ple.com:7051
2023-11-08 12:55:12.685 UTC [chaincodeCmd] ClientWait -> INFO 002 txid [e848aec2f4dc174e2718f924caf
ple.com:7051
*********************success*************************
Installed chaincodes on peer:
Package ID: mycc_1:3ad02d9bcd6425c979110d1c527990e5d422a01febc8e63f78bd4c960fac9035, Label: mycc_1
Package ID: mycc_1:83c5cb417a520ea6afb73b423c0954bbb9743e5ad391fa22c58f3b069573c4c8, Label: mycc_1
*********************success*************************
```

图6　零售商合作博弈智能合约部署

Fig. 6 Retailer cooperative game smart contract deployment

表7 合作博弈均衡策略合约

Table 7 Cooperative game for determining policies

输入输出	伪代码描述
输入:*k*值(*k*>1)、*q*值(*q*<1)、零售商M_1和零售商M_2对应*T*值(*T*<=*k*) 输出:合作博弈均衡策略结果	Begin *T*1=根据输入由*T*1公式(19)计算*T*1值 *T*5=根据输入由*T*5公式(23)计算*T*1值 if *k*×*q*<1 if *T*<=*T*5 ‖ [*k*>=2/(2–*q*)^2 && *k*×*q*/2<*T* && *T*<=*k*–sqrt(*k*)] return"方案BB为均衡策略" else if [*k*>=2/(2–*q*)^2 && *T*5<*T* && *T*<=*k*×*q*/2] ‖ [*k*–sqrt(*k*)<*T* && *T*<=*T*1] ‖ [*k*<2/(2–*q*)^2 && *T*5<*T* && *T*<=*T*1] return"方案BA为均衡策略" else if [*k*>=2/(2–*q*)^2 && *T*>*T*1] ‖ [*k*<2/(2–*q*)^2 && *T*>*T*1] return"方案AA为均衡策略" else if *k*×*q*>1 if *T*<=*T*5 return"方案BB为均衡策略" else if *T*5<*T* && *T*<=*T*1 return"方案BA为均衡策略" else if *T*>*T*1 return"方案AA为均衡策略" else if *k*×*q*=1 if *T*<=*T*5 return"方案BB为均衡策略" else if *T*5<*T* && *T*<=*T*1 return"方案BA为均衡策略" else if {*k*<=3/2 && 2×*k*–(4×*k*–1)/sqrt[8×(*k*–1)]<=*T* && *T*<(16×*k*^{2}–16×*k*+9)/2×(4×*k*–1)^2} return"方案AB为均衡策略" else if {*k*<=[2+sqrt(3)]/2 && *T*>=(16×*k*^{2}–16×*k*+9)/2×(4×*k*–1)^2 ‖ *k*>[2+sqrt(3)]/2 && *T*>*T*1} return"方案AA为均衡策略" return"无法得出均衡策略" End

溯源码扫描次数与农产品成交量的比值调查，得出该街道消费者的隐私关注程度适中（此时T取值为0.8，$T\leqslant k$），通过输入实验验证所需的数据调取智能合约，输出结果为"BA为均衡策略"，如图7中第一组输出结果所示。在这种情况下早期经营的零售商通过售卖区块链溯源农产品来提高客户满意度，从而获取更多的利润。新进入的零售商继续按原本的定价策略售卖传统农产品以定价优势立足，在此策略下，两家可以在市场上互利共存。

为保证实验样本的多样性，对附近另一家新进零售商R_3进行调查，与零售商R_1相比，除了价格系数不同，两家农产品的定价比较接近（此时q取值为0.2，$q<1$），由于处于同一街道，其他因素不变，将数值输入调用智能合约，输出结果为"BB为均衡策略"，如图7中第二组输出结果所示。在这种情况下，R_1和R_3两家零售商都可以选择区块链溯源农产品来提升农产品利润。此时市场上一共存在R_1、R_2和R_3这3家农产品零售商，由于合作博弈均衡策略的采用，每家都有符合自己定位的市场，达成市场合作互惠，保证了自身的利益水平，也避免了恶意市场竞争导致的市场资源浪费。另外，考虑区块链溯源技术并不能被所有人所认知，通过大幅调低区块链技术带来的透明度进行验证（此时k取值为1.2，$k>1$，其他不变），输出结果为"AA为均衡策略"，如图7中第3组输出结果所示。此时市场上初始的零售商与新进的零售商都不会售卖区块链溯源产品，此时新技术的应用可能会降低原本的利益，由此也可以看出，消费者对于区块链溯源技术的认知也是其应用于农产品市场的前提条件。

到此，实验结果与前文研究一致。实际市场竞争时，合作博弈双方可以将自身实际的产品透明度情况、定价情况以及店内消费者的隐私担忧程度的

数值输入至智能合约，可以迅速得出提高收益的最优策略，以达到合作共赢的目的。通过区块链智能合约的应用为农产品零售商之间的合作博弈提供技术基础，建立良好的市场合作关系。

```
'{"Args":["FindEquilibriumStrategy","4","0.4","0.8"]}'
'{"Args":["FindEquilibriumStrategy","4","0.2","0.8"]}'
'{"Args":["FindEquilibriumStrategy","1.2","0.2","0.8"]}'
bash-5.0# peer chaincode query -C mychannel -n mycc -c
Strategy BA is the equilibrium strategy
bash-5.0# peer chaincode query -C mychannel -n mycc -c
Strategy BB is the equilibrium strategy
bash-5.0# peer chaincode query -C mychannel -n mycc -c
Strategy AA is the equilibrium strategy
bash-5.0#
```

图 7　零售商合作博弈智能合约实例数据调用

Fig. 7 Retailer cooperative game smart contract instance data call

4　结论与展望

4.1 结论

从农产品质量安全的角度来看，农产品区块链可追溯性大大提高了农产品质量信息的透明度。从效益的角度来看，农业区块链可追溯性并不总是适用于农业零售商。零售商需要根据自己的实际情况做出最佳决策，以增加农产品的产品效用，增加销售需求及利润。综合考虑了区块链的应用场景，得出一些结论。

上述研究的模型中包含一家初始农产品零售商 M_1 和一家新兴的农产品零售商 M_2，本研究为其提供是否选择售卖溯源产品的最优决策，根据上述的研究，得出以下结论：首先分别对两家农产品零售商选择与不选择售卖溯源产品的最优定价和相应的利润水平进行研究分析。当农产品零售商选择售卖溯源农产品时，最优定价水平会因为消费者的隐私担忧程度过高而降低定价，同时利润也会随之降低。通过研究发现在不同的情况下，两家农产品零售商对于是否售卖区块链农产品的选择各不相同，而且只有在消费者的隐私关注度较低时，两家农产品零售商才会选择售卖溯源产品。当消费者隐私关注度和区块链技术所带来的农产品质量信息透明度的提升都处于中等水平时，最初的农产品零售商 M_1 会选择售卖区块链溯源产品，新入的 M_2 会放弃售卖，在消费者隐私关注度高于一定阈值后，农产品质量信息的提升并不能打消消费者对隐私的担忧，这对农产品零售商来说只会降低利润水平，此时两家农产品零售商都不会选择售卖溯源农产品。通过研究还得到了两家农产品零售商之间关于是否售卖区块链溯源农产品的均衡策略，为农产品零售商提供不同情况下的最优决策。另外，在农产品零售市场的竞争中，只有参与方之间良性的合作博弈才能使双方的利益最大化，进而增加农产品供应链的整体利润。

4.2 展望

此前一直讨论的是区块链能够提升农产品的质量信息透明度，如果产品的信息对于消费者过于透明，也有可能会降低消费者对产品的期望，影响其购买决策。为了检验模型的鲁棒性，未来研究工作中将考虑 $k < 1$，以及加入区块链成本 c 之后的具体变化。如果 $k < 1$，农产品零售商的均衡策略总是案例 AA，这意味着当两家零售商在不售卖溯源农产品的情况下可以获得更高的利润。信息透明度过高，减少了消费者的购买欲望。所以 M_1 和 M_2 都不会选择售卖溯源产品。

在使用区块链技术时需要设计相应的标识符，如二维码和条形码等，这需要商家支付相应的成本。这里假设农产品零售商使用区块链技术的成本都是 c，然后获得加入区块链成本 c 后两家农产品零售商之间的平衡。

带入成本 c 计算之后两家农产品零售商之间的平衡与不考虑区块链成本时的平衡相似。有一点不同的是，当考虑区块链成本时，案例 AB 不会成为两家农产品零售商的均衡策略。这是因为区块链成本的增加使得原本就处于竞争劣势的 M_2 加剧了成本负担，所以案例 AB 不再会成为两家农产品零售商的平衡策略，目前均为简单猜想，在未来工作中将对其他影响因素做进一步的具体研究。

虽然对农产品零售商选择售卖区块链溯源产品的情况发表了一些见解，但在区块链的应用决策方面未来仍有一些值得注意的问题，供应链中的所有参与者都被假设为风险中性，在现实中不同类型的参与者的风险偏好也各不相同，对应的决策也会各有不同，此方面也是未来值得研究的方向。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献：

[1] 孙传恒, 于华竟, 徐大明, 等. 农产品供应链区块链追溯技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2021, 52(1): 1-13.
SUN C H, YU H J, XU D M, et al. Review and prospect

of agri-products supply chain traceability based on blockchain technology[J]. Transactions of the Chinese society for agricultural machinery, 2021, 52(1): 1-13.
[2] KRITHIKA L B. Survey on the applications of blockchain in agriculture[J]. Agriculture, 2022, 12(9): ID 1333.
[3] KAMATH R. Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM[J]. The journal of the British blockchain association, 2018, 1(1): 1-12.
[4] UNDERWOOD S. Blockchain beyond bitcoin[J]. Communications of the ACM, 2016, 59(11): 15-17.
[5] 杨信廷, 王明亭, 徐大明, 等. 基于区块链的农产品追溯系统信息存储模型与查询方法[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 323-330.
YANG X T, WANG M T, XU D M, et al. Data storage and query method of agricultural products traceability information based on blockchain[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2019, 35(22): 323-330.
[6] FENG H H, WANG X, DUAN Y Q, et al. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges[J]. Journal of cleaner production, 2020, 260: ID 121031.
[7] 陈化飞, 贾鑫, 姜曼. 谎报行为下生鲜供应链中区块链技术应用决策[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(16): 265-270.
CHEN H F, JIA X, JIANG M. Research on deision-making of fresh agricultural supply chain with blockchain under behavior of misreporting[J]. Computer engineering and applications, 2019, 55(16): 265-270.
[8] 刘双印, 雷墨鹥兮, 王璐, 等. 区块链关键技术及存在问题研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(3): 66-82.
LIU S Y, LEI M Y X, WANG L, et al. Survey of blockchain key technologies and existing problems[J]. Computer engineering and applications, 2022, 58(3): 66-82.
[9] BABICH V, HILARY G. What OM researchers should know about blockchain technology[S]. Washington DC: Georgetown University, 2018.
[10] PUN H, SWAMINATHAN J M, HOU P. Blockchain adoption for combating deceptive counterfeits[J]. Production and operations management, 2021, 30(4): 864-882.
[11] CHEN Z J, CHOE C, MATSUSHIMA N. Competitive personalized pricing[J]. Management science, 2020, 66 (9): 4003-4023.
[12] VALLETTI T, WU J H. Consumer profiling with data requirements: Structure and policy implications[J]. Production and operations management, 2020, 29(2): 309-329.
[13] CHAKRABORTY A, MANDAL P. Channel efficiency and retailer tier dominance in a supply chain with a common manufacturer[J]. European journal of operational research, 2021, 294(1): 100-121.
[14] CHOI T M, GUO S, LIU N, et al. Optimal pricing in on-demand-service-platform-operations with hired agents and risk-sensitive customers in the blockchain era[J]. European journal of operational research, 2020, 284(3): 1031-1042.
[15] XU X, ZENG S, HE Y J. The impact of information disclosure on consumer purchase behavior on sharing economy platform Airbnb[J]. International journal of production economics, 2021, 231: ID 107846.
[16] BELLEFLAMME P, LAM WM W, VERGOTE W. Competitive imperfect price discrimination and market power[J]. Marketing science, 2020, 39(5): 996-1015.
[17] 李怡娜, 徐学军. 信息不对称条件下可控提前期供应链协调机制研究[J]. 管理工程学报, 2011, 25(3): 194-199.
LI Y N, XU X J. Supply chain coordination with controllable lead time and asymmetric information[J]. Journal of industrial engineering and engineering management, 2011, 25(3): 194-199.
[18] 肖群, 马士华. 促销努力成本信息不对称下供应链回购契约[J]. 运筹与管理, 2015, 24(3): 27-34.
XIAO Q, MA S H. Design for supply chain contract with asymmetric information on promotional effort cost[J]. Operations research and management science, 2015, 24(3): 27-34.
[19] TSAI J Y, EGELMAN S, CRANOR L, et al. The effect of online privacy information on purchasing behavior: An experimental study[J]. Information systems research, 2011, 22(2): 254-268.
[20] ZHOU L, WANG W, XU J D, et al. Perceived information transparency in B2C e-commerce: An empirical investigation[J]. Information & management, 2018, 55(7): 912-927.
[21] LI X Y, ZHENG Z B, DAI H N. When services computing meets blockchain: Challenges and opportunities[J]. Journal of parallel and distributed computing, 2021, 150: 1-14.
[22] WANG R, CHEN X. Research on agricultural product traceability technology (economic value) based on information supervision and cloud computing[J]. Comput intell neurosci, 2022, 2022: ID 4687639.

Price Game Model and Competitive Strategy of Agricultural Products Retail Market in the Context of Blockchain

XUE Bing[1,2,3], SUN Chuanheng[2*], LIU Shuangyin[1,3], LUO Na[2], LI Jinhui[2]

（1. *Guangzhou Key Laboratory of Information Technology for Quality and Safety Traceability of Agricultural Products, Guangzhou* 510225, *China*; 2. *National Research Center of Agricultural Information Engineering Technology, Beijing* 10097, *China*; 3. *College of Information Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou* 510225, *China*）

Abstract:
[Objective] In the retail market for agricultural products, consumers are increasingly concerned about the safety and health aspects of those products. Traceability of blockchain has emerged as a crucial solution to address these concerns. Essentially, a blockchain functions as a dynamic, distributed, and shared database. When implemented in the agricultural supply chain, it not only improves product transparency to attract more consumers but also raises concerns about consumer privacy disclosure. The level of consumer apprehension regarding privacy will directly influence their choice to purchase agricultural products traced through blockchain-traced. Moreover, retailers' choices to sell blockchain-traced produce are influenced by consumer privacy concerns. By analyzing the impact of blockchain technology on the competitive strategies, pricing, and decision-making among agricultural retailers, they can develop market competition strategies that suit their market conditions to bolster their competitiveness and optimize the agricultural supply chain to maximize overall benefits.
[Methods] Based on Nash equilibrium and Stackelberg game theory, a market competition model was developed to analyze the interactions between existing and new agricultural product retailers. The competitive strategies adopted by agricultural product retailers were analyzed under four different options of whether two agricultural retailers sell blockchain agricultural products. It delved into product utility, optimal pricing, demand, and profitability for each retailer under these different scenarios. How consumer privacy concerns impact pricing and profits of two agricultural product retailers and the optimal response strategy choice of another retailer when the competitor made the decision choice first were also analyzed. This analysis aimed to guide agricultural product retailers in making strategic choices that would safeguard their profits and market positions. To address the cooperative game problem of agricultural product retailers in market competition, ensure that retailers could better cooperate in the game, blockchain smart contract technology was used. By encoding the process and outcomes of the Stackelberg game into smart contracts, retailers could input their specific variables and receive tailored strategy recommendations. Uploading game results onto the blockchain network ensured transparency and encouraged cooperative behavior among retailers. By using the characteristics of blockchain, the game results were uploaded to the blockchain network to regulate the cooperative behavior, to ensure the maximization of the overall interests of the supply chain.
[Results and Discussions] The research highlighted the significant improvement in agricultural product quality transparency through blockchain traceability technology. However, concerns regarding consumer privacy arising from this traceability could directly impact the pricing, profitability and retailers' decisions to provide blockchain-traceable items. Furthermore, an analysis of the strategic balance between two agricultural product retailers revealed that in situations of low and high product information transparency, both retailers were inclined to simultaneously offer sell traceable products. In such a scenario, blockchain traceability technology enhanced the utility and profitability of retail agricultural products, leading consumers to prefer purchase these traceable products from retailers. In cases where privacy concerns and agricultural product information transparency were both moderate, the initial retailer was more likely to opt for blockchain-based traceable products. This was because consumers had higher trust in the initial retailer, enabling them to bear a higher cost associated with privacy concerns. Conversely, new retailers failed to gain a competitive advantage and eventually exit the market. When consumer privacy concerns exceeded a certain threshold, both competing agricultural retailers discovered that offering blockchain-based traceable products led to a decline in their profits.
[Conclusions] When it comes to agricultural product quality and safety, incorporating blockchain technology in traceability significantly improves the transparency of quality-related information for agricultural products. However, it is important to recognize that the application of blockchain for agricultural product traceability is not universally suitable for all agricultural retailers. Retailers must evaluate their unique circumstances and make the most suitable decisions to enhance the effectiveness of agricultural products, drive sales demand, and increase profits. Within the competitive landscape of the agricultural product retail market, nurturing a positive collaborative relationship is essential to maximize mutual benefits and optimize the overall profitability of the agricultural product supply chain.

Key words: blockchain; supply chain; retailers of agricultural products; consumer privacy; game theory

Foundation items: National Key Research and Development Program of China (2022YFD2001804)

Biography: XUE Bing, E-mail: 1277463828@qq.com
***Corresponding author:** SUN Chuanheng, E-mail: sunch@nercita.org.cn